

タイ・マレーシアにおける物理探鉱

吉 住 永 三 郎

GEOPHYSICAL PROSPECTING IN THAILAND AND MALAYSIA

Preliminary Survey

by Eizaburo Yoshizumi

This paper is the result of a preliminary survey in Thailand and Malaysia of geophysical prospecting made during November and December, 1964.

Geophysical prospecting is the method used to search for deposits of minerals by physical measurements of the earth's surface. These measurements give information as to the physical properties of materials within the earth. Such information can be used to locate mineral deposits.

There are five major methods used in geophysical prospecting: the seismic, gravitational, electrical, magnetic, and radioactive methods. Geophysical prospecting is a comparatively young science, and in Thailand and Malaysia it has not been much applied.

The ore deposits which were investigated in this preliminary survey were iron, cassiterite, manganese, and fluorite. In prospecting for iron ore deposits, the magnetic and electrical methods can be used. The magnetic method is used in airborne as well as ground prospecting operations while the electrical method is used only in ground prospecting operations. To prospect for cassiterite and manganese deposits, the electrical method can be utilized in ground prospecting operations. It is rather difficult to prospect for fluorite deposits by geophysical methods, because the physical differences between fluorite deposits and ordinary indigenous rocks are hardly distinguishable.

Since ore deposits widely distributed in the Southeast Asian area are of great concern to Japan, a cheap geophysical prospecting method which can be easily understood and utilized by Southeast Asian engineers is highly to be desired. It was determined that the geophysical prospecting which will be undertaken in 1965 in northern and southern Malaysia was to be for iron ore deposits and that the method used would be the magnetic method in ground prospecting operations with the electrical method to be used as well where necessary.

1 序 言

昭和39年11月より12月にかけて約30日間タイ、マレーシアにおける地下資源の物理探鉱に関する予備調査のため、地質鉱床学の滝本教授とともにタイ、マレーシアの両国に出張した。調

査の目的はタイ、マレーシアの両国において物理探鉱の調査を実施する場合、如何なる探鉱方法と探査方式が適当であるかを決定することであった。

一般に、物理探鉱の調査は相当な経費を必要とするので、物理探鉱の調査を実施する以前に、予備調査によって

- (1) 地質学的な地表調査を行ない、鉱床の存在しそうな地域を決定し、
- (2) この地域の地形および地表の条件によって、探査方式を考慮して、目的の地下資源の性質に適した探鉱方法を決定する必要がある。

予備調査は地質的な調査に重点がおかれ、この段階では物理探鉱法の機器は用いられない。その理由は物理探鉱法の機器は現在携帯用のものが少ないからである。地下資源の開発の順序は、予備調査の結果、物理探鉱の調査が行なわれ、試錐または坑道調査によって鉱床が確認され、鉱山の開発が始められることになる。鉱床の存在しそうな地域は地表踏査によって発見されたいわゆる露頭によって確認され、現在各国の地質調査所などによって行なわれた調査結果が報告されている。露頭が十分大きければ、物理探鉱や試錐による調査は省略され、直ちに鉱山の開発が進められる場合もある。わが国においては、この露頭は十分に調査されており、現在ではいわゆる潜頭鉱床の探査に力が注がれるようになっている。この潜頭鉱床の場合には、物理探鉱や試錐による調査は必須の条件である。露頭の場合にも、物理探鉱や試錐による調査は必要で、露頭調査から直ちに鉱山の開発を行ない失敗している例はわが国においてもなお見受けられる。

東南アジア地域は現在いわゆる露頭調査の段階で、鉱床の存在しそうな地域の調査はわが国に比べると遙かに楽である。現在わが国の海外調査団は数多く組織されているが、地表踏査による地質調査が主で物理探鉱の調査は余り行なわれていない。海外で鉱山を開発する場合には物理探鉱の調査を並用し、確実に鉱量を算定しなければ危険である。物理探鉱の調査は相当な経費を必要とするので、現在大規模な海外調査は行なわれていないが、個々に行なわれている小規模な調査で中途半端な結果をうるよりも、計画性のある国全体としての統一された調査が今後とくに必要であると痛感される。

2 物理探鉱法一般とタイ、マレーシアにおける使用状況

物理探鉱法の歴史は割に新しく、1900年頃に実用化されるようになった。物理探鉱法は土地の地球物理学的な現象を利用して、地下構造を解析する方法で、探鉱方法には色々な方法があり、探査する方式にも色々な形式が考えられる。

2.1 物理探鉱法

物理探鉱とは地下の地質構造と関連して、人為的にまたは自然に発生している物理現象を観測し、その資料を検討することにより地下の状態を推測する方法である。大別すれば、地震探

鉱法、重力探鉱法、電気探鉱法、磁気探鉱法および放射能探鉱法に分類される。これらの方法のうち、自然に発生する物理現象を利用する方法としては重力探鉱法、電気探鉱法のうち自然電位法、磁気探鉱法および放射能探鉱法があり、人為的に地下にエネルギーを与えた結果発生する物理現象を利用する方法としては地震探鉱法、電気探鉱法のうち電位法や電磁誘導法および放射能探鉱法のうち放射性同位元素を利用する方法がある。自然に発生する物理現象を利用する方法は比較的簡単な測定方法であり、一般に深度を決定する解釈法に欠点がある場合が多い。一方、人為的に発生させる物理現象を利用する方法は複雑な測定方法にはなるが、測定結果は必要に応じて沢山うることができるので、深度の決定などについてさらに詳細な解析をすることができる。探査しうる条件としては、目的物の物理的性質とそれを取りまく周囲の媒質の物理的性質とが相違していることが当然必要であり、これらの物理的性質の相違を特色づける現象によって探鉱方法の適応性が決定される。第1表は5種類の探鉱方法の内容を簡単に総括したものである。

方 法	物 理 現 象	適 応 分 野
地 震 探 鉱 法	伝播現象	石油、石炭、地質構造
重 力 探 鉱 法	密 度	石油、石炭、地質構造
電 気 探 鉱 法	分極、比抵抗、透磁率、誘電率	一般鉱床、地質構造、地下水
磁 気 探 鉱 法	透 磁 率	磁性鉱床
放 射 能 探 鉱 法	放 射 能	放射性鉱床

第 1 表

2.2 探査方式

探査方式としては空中探査、海上探査および地表探査などの方式が考えられる。

空中探査方式は飛行機やヘリコプターを用いて空中より地下構造を探査する方式で、物理探鉱の調査では概査にあたるもので、広範囲の調査に適している。とくに地表条件の悪い、砂漠、密林、湿地帯などの調査には適している。空中探査方式に利用される探鉱方法は電気探鉱法のうち電磁誘導探鉱法、磁気探鉱法および放射能探鉱法である。測定は自動的に連続記録がえられるような方式で、一定の高度を航空写真の上の予定線に沿って行なわれる。飛行機を使用する場合には、高度が150mから1500m程度に保たれ、ヘリコプターを使用する場合には高度は50m程度まで低く保たれる。それゆえ、飛行機を使用する空中探査は範囲は広いが精度は低い、ヘリコプターによるものは高度が低いだけ精度は向上する。空中探査の方式は主として第2次大戦後に実用化された調査方式で、未開発地域の調査には有力な方法である。

海上探査方式は海上で行なう方式で、その特長は海水面は水平で、媒質は均質な海水が第1層目に存在するという点である。空中探査方式では使用されなかった地震探鉱法が用いられる。

地震探鉱法のうち、最近急速に進歩した音波探鉱法が広く用いられるようになり、海底調査には今後大いに活躍するものと思われる。その他、海上探査方式には重力探鉱法、磁気探鉱法および電気探鉱法も用いられる。

地表探査方式はもちろん古くから行なわれている方式で全ての探鉱方法に用いられており、測点は碁盤竊に設置され、測点の間隔は5mから50m程度にとられる。空中探査方式による概査のあとの精査にも用いられる。もちろん空中探査方式に比べて探査精度は高い。測線のとり方は各探鉱方法で相違はあるが、一般に脈状鉱体に対してはその鍾に対して直角方向に、また地形の影響を軽減するために地形の等高線沿いか単傾斜方向に、測線は設置される。測線の間隔は20mから50m程度であり、測線の上の測点の間隔は5mから20m程度である。大平原の鉱床探査か一般の地質構造の調査には測線間隔が500mから2,000m程度で、測点間隔が50mから200m程度まで広くとられる場合もある。

地表探査方式には自動車に測定機器を塔載して行なう自動車探査方式がある。測定は空中探査方式と同様に、自動的に連続記録がえられるようになっている。この方式には電気探鉱法、磁気探鉱法および放射能探鉱法が用いられる。測線はとくに設置せず、既設の道路上を走りながら測定する場合が多く、地表探査方式では概査的な意味で行なわれるのが普通である。

2.3 タイ、マレーシアにおける物理探鉱法の使用状況

タイにおいては1954年に空中探査方式による磁気探鉱の調査が Chao Phraya 河流域において実施されている。目的は火成岩の基盤を被覆する堆積層の厚さを明確にして、石油の存在を調査することであった。空中磁気探査の結果、さらに重力探鉱の調査が行なわれ、1,820mの試錐が行なわれたが、下部の火成岩の層にはとどいていないようである。さらに、地震探鉱の調査も行なわれたが、余りよい結果はえられなかったようであった。

その後、タイの東部および北部において空中探査方式による磁気探鉱と放射能探鉱の調査が行なわれ、異常地帯について、地表探査方式による磁気探鉱と重力探鉱の調査が行なわれた。電気探鉱の調査が最近開始されたようである。

マレーシアにおいても第2次大戦後、空中探査方式による磁気探鉱の調査がマラヤ（マレー半島）で実施されている。わが国からは2,3の会社が鉄鉱床の調査に、地表探査方式による磁気探鉱の調査を実施し成果をあげている。

タイ、マレーシアともに、鉱床の調査は露頭の調査の段階で、物理探鉱の調査は未だそれ程用いられていない。空中探査は両国ともに外国の技術で実施されたもので、自分の国の技術では地表探査方式による調査がわずかに実施されている程度である。

3 タイ、マレーシアにおける物理探鉱法の適応性

予備調査で対象にした鉱床は錫鉱床、鉄鉱床、螢石鉱床およびマンガン鉱床で、錫鉱床と鉄

鉱床はマレーシアにおいて、螢石鉱床とマンガン鉱床はタイにおいて調査した。

3・1 錫鉱床

調査はマラヤの西側，北より Ipoh 付近，Kuala Lumpur 付近および Johore Bahru 付近で行なった。調査した錫鉱床の主なものは二次鉱床である漂砂鉱床で，いわゆる砂錫と呼ばれるものである。写真1は，

Kuala Lumpur 付近の漂砂鉱床の錫鉱石の採取現場である。この方法は主として華僑資本による鉱石の採取方法で相当に原始的なものである。鉱床の周辺には石灰岩があり，風化した花崗岩質の表土層の中に錫鉱石が含まれている。写真の上部の湖は採取後に水がたまったところであり，上部

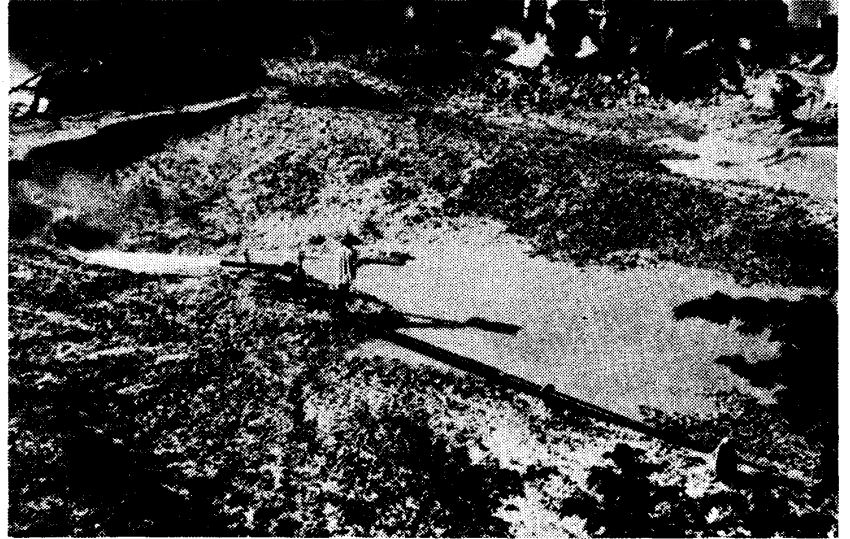


写真1 錫鉱石の採取現場である。水を強く放出して鉱石を洗い流している。

左側，湖の中に見える岩は基盤である石灰岩である。左下部に見られる鉄管によって水が送られ，風化した表土層に当てられて錫鉱が洗い流される。洗い流された錫鉱石を含んだ泥水はポンプで10m余り上げられ，写真2にしめすような樋に導かれる。樋中分離されているものは割に大きい岩屑である。さらに樋は写真3にしめすように割にゆるやかな傾斜になり，重い錫鉱石が沈殿して採取される。樋の長さは全長500m余りである。この方式は如何にも古くさい感じで，作業人員も5人余りで，のんびりとした風景であった。写真4は採取跡で向う側には石灰岩がよく見られる。写真5は英国資本による鉱石の採取方法で機械の前半分である。写真の左側の水中にあるショベルで鉱石を取る。採取された鉱石は右側の室内に送られ選別される。採取が進むにつれて機械全体が左に移動する近

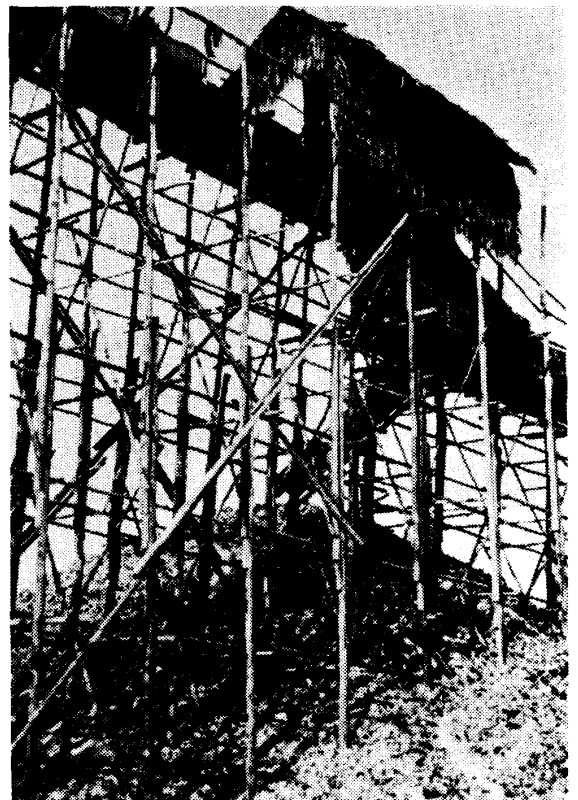


写真2 洗い流された泥水は樋に組まれた樋に導かれ，まず岩屑が除去される。

代的な設備である。

錫鉱床に対する探査は現在のところ露頭による調査の段階で、簡単な試錐によって確認されている。鉱床の底の広がりかどの程度であるかはとくに調査されてはおらず、むしろ採取機械の能率によって制限されているようである。採取跡の水たまりはいたるところに見受けられ、無計画に乱掘されている状態をまざまざとしめしている。

錫鉱床に対する物理探鉱法は電気探鉱法のうち比抵抗法であろう。0.2%の含有率の鉱床までが採取の対象になっているようで、平均された見掛け比抵抗はそれほど低くはないと思われるが、鉱床地帯は相当に風化

写真3

幅の広いゆるやかな傾斜の樋で、重い鉱石は沈澱して、選別される。



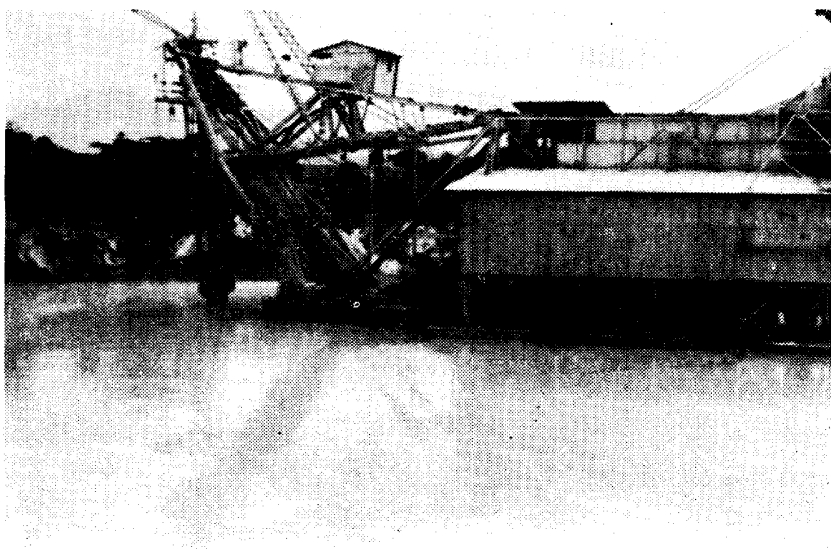
写真4

採取された跡のくぼ地で、石灰岩がよく見られる。立札に書かれた四種類の国語が興味をひく。



写真5

近代的な錫鉱石の採取設備である。



しているので、写真1や写真4に見られる石灰岩との境界面は容易に探査されるものと思われる。しかも、錫鉱床のうち二次鉱床である漂砂鉱床付近の地形は割に単純で、この点でも電気探鉱法には有利である。錫鉱床には磁性がないので磁気探鉱法は無理であり、重力探鉱法および地震探鉱法は適当ではない。

探査方式としては地表面下割に浅いところに鉱床が期待できるので地表探査方式が適当であろう。

採取されたあとの水たまりの下部にどの程度の錫鉱石が残っているかは物理探鉱の調査では相当に困難で、現段階において計画性のある探鉱方針ならびに採取方法をとらなければ、未採取の鉱石が地下に放置されることになり、将来の探査は困難になり、相当の混乱が来るものと思われる。

3.2 鉄鉱床

調査はマラヤの西側、Ipoh 付近と Johore Bahru 付近で行なった。

マラヤの鉄鉱床は1920年頃に石原産業株式会社によって開発され、第2次大戦までマラヤの鉄鉱石はわが国の主要製鉄原料であった。戦後もわが国との関係は続いている。マラヤの鉄鉱床は2種類に大別される。赤鉄鉱を主体とする塊状の初生鉱床に二次鉱床である転石を或る程度ともなうものと、赤鉄鉱を主体とする二次鉱床からなるものとの2種類であるが、一般に、初生鉱床の上層部には二次鉱床が存在しているようである。初生鉱床は花崗岩と石灰岩との境界付近に生成した接触交代鉱床であると思われる。鉄鉱床は写真6の左側に見るように相当に侵蝕された石灰岩の絶壁にかこまれて不規則な形状で袋状に存在している。二次鉱床は転石層であって、初生鉱床から崩壊して堆積したもので、一般に角礫状のものが多く、形状および大きさは多様である。一般に赤鉄鉱が多いようであるが、磁鉄鉱も含まれており、上層部には褐鉄鉱が存在している場合もある。

写真7はIpoh 付近の鉄鉱床の採掘現場である。鉄鉱床は正面の石灰岩の壁まで存在している訳で、品位の高いものはそのまま鉱石と認められるが、砂質や粘土質の不純物を含んだ鉱石は水洗いをすればよい。



写真6 左側は侵蝕された石灰岩の絶壁である。鉄鉱床はこのような石灰岩で囲まれている。

鉄鉱床に対する探査は現在、石灰岩にかこまれた露頭において試錐による探鉱調査を実施している段階である。ここで問題になるのは鉱床の下部がどの程度の深さであるかということである。鉱床の周囲は石灰岩に接しているが下部がどのようなになっているかは不明のようで、興味ある問題である。



写真7 鉄鉱石の採掘現場である。二次鉱床で、採掘は比較的楽である。

鉄鉱床に対する物理探鉱法は磁気探鉱法をまず用いる必要がある。鉱体に磁性がない場合には用いられないが、少なくとも多少の磁鉄鉱は存在しているようで磁性はあるものと思われる。第2章において説明したように磁気探鉱法では深度に対する解析ができにくい。それゆえ、深度を決定するには電気探鉱法のうち比抵抗法を併用することが望ましい。鉱床の賦存する地表付近の地形は割に平坦であるから、電気探鉱法には有利な条件である。深度を解析する比抵抗法は鉱床の周囲の石灰岩の場所では不適當で、鉱床の中央付近の平坦な場所で実施すれば下部の層は決定されると思われる。

探査方式としてはまず空中探査方式が考えられる。鉄鉱床は割に広範囲に存在していなければ開発の対象にはならないので、このような鉱床に対しては空中探査方式による概査が有効で



写真8 Ban Hong の螢石の採掘現場で、全くの人海戦術である。

ある。空中探査によって認められた異常地帯には地表探査方式によって精査を実施しなければならない。磁気探鉱による空中探査においては鉄鉱床以外の火成岩による異常が現われることがあるので、空中探査の結果の解析にはとくに注意する必要がある。

3・3 螢石鉱床

調査はタイ北部 Chiang

Mai 付近の Ban Hong と Doi Tao で行なった。

写真8は Ban Hong の螢石鉍床の採掘現場である。表土層は風化がはげしく、岩石類の露出状況は悪く、基盤は殆んど認められない。付近の地質は粘板岩、石灰岩および砂岩からなり、とくに花崗岩類の火成岩は見当らなかった。構造線沿いに珪化、鉍化作用が行なわれ、灰黒色の良質な螢石が形成され、その一部は破碎されて角礫化し、さらに珪化、鉍化作用を繰り返して、鉍床が形成されたものと思われ、鉍石自身はかなり複雑で不均質な構成をしめしている。写真の採掘は全く人海戦術ともいえる採掘方法である。写真の塊状をしている岩石が螢石の鉍石である。



写真9 Doi Tao の螢石鉍脈で1mから2m程度の鍾巾である。

難であると思われる。鉍床と母岩との間にとくに明確な物理的性質の相違がないようで、地震探鉱法、重力探鉱法および磁気探鉱法は不適當であろう。強いて使用するとすれば電気探鉱法であるが、螢石鉍床の比抵抗は相当に高いと思われる。母岩の比抵抗との相違が問題である。Ban Hong の螢石鉍床の表土層は風化が著し

写真9は Doi Tao の螢石鉍床の脈である。1m から2m 余りの鍾巾の脈が深いところでは10m余りまで採掘されていた。鉍脈には螢石、乳白色石英、方解石、白雲母および黄鉄鉍などが見られる。写真10は鉍脈の採掘で、発破用の孔ぐりをしているところである。写真11は螢石の選別で、おもに女性の仕事のようにであった。

螢石鉍床に対する物理探鉱の調査は相当に困



写真10 鉍脈の採掘現場での発破用の穴掘り。

いが、Doi Taoの方は鉍脈で明らかに地表に現われているので、電気探鉍の調査には Doi Tao の鉍脈の方が有利であると思われる。

探査方式はもちろん地表探査方式であるが、物理探鉍の探査結果に余り期待することはできない。

3・4 マンガン鉍床

調査は Chiang Mai 付近の Ban Mae Tuenで行なった。タイの北部にはマンガン鉍床はかなり多い。

写真12は採掘現場で、ラテライト質の赤褐色の風化した表土層の中に黒色の硬マンガン鉍が賦存していた。写真に見るようにショベルで採掘され、トラックに積まれて選別所に送られ、



写真12 マンガン鉍石の採掘現場で、ショベルで楽に採掘されている。



写真11 螢石の選別をしているところ。選別は主に女性の仕事である。

水洗されて数十人の女性によって手選により分類されていた。

マンガン鉍床に対する物理探鉍法は電気探鉍法のうち比抵抗法と自然電位法とが考えられる。調査した地域の地形は割に単純で、表土は草木が茂り、露頭は採掘現場以外では明らかではなかった。螢石鉍床に比べるとマンガン鉍床は物理探鉍の調査によって発見される可能性は多いと思われる。

探査方式は地表探査方式である。鉍床は割に地表近くに存在していると考えられるので測点間隔は小さくする必要がある。

4 結 言

タイ、マレーシアにおける物理探鉍の探査に関する予備調査について報告した。端的に言えば、鉍床の調査は露頭調査の段階で、物理探鉍の調査は未だそれ程進められてはいない。とく

に自国の技術者によって計画的に進められている現状ではなかった。しかし、関係者にはその必要性を認め相当に積極的な意見を持っている人もいた。未だ自国による鉱山の開発そのものにも明確な計画性はないようで、鉱山の初期の開発が殆んど外国人に委ねられている現状から考えて、調査方面も当然外国人の援助で行なわれている段階であった。昭和40年度に行なわれる本調査がタイ、マレーシアの物理探鉱の調査に対して、色々な意味で参考になれば幸と思っている次第である。

昭和40年度の物理探鉱の現地の本調査は

- (1) 東南アジア地域に広く分布している鉱石
- (2) わが国と関係の深い鉱石
- (3) 東南アジア地域の技術者に理解されやすく、実施されやすい物理探鉱調査
- (4) 経費の少ない探鉱方法および探査方式

などを考慮して、探査の対象鉱石は鉄鉱石とし、探鉱の調査は地表探査方式による磁気探鉱法を主とし、電気探鉱法を補助的に用いることに決定し、次の4候補地を選定した。すなわち、

マラヤ南部の Johore Bahru 付近の (1) Permatang, (2) Simpang Rengam, (3) Jorak とマラヤ北部の Ipoh 付近の (4) Sungei Kerbau である。

終りに、東南アジア地域の資下資源の物理探鉱の調査を主とした立場から2, 3の問題点を述べる。

(1) 探鉱方法と探査方式

未開発地域である密林や湿地帯に地表探査方式を用いることはむずかしい。測定用の測線を設置すること自身相当な仕事である。自動車探査方式にしても、自動車を通れる道は必要である。探査方式としては空中探査方式がもっとも便利であるが、自国の技術で最初から行なうことは困難であるので、測線の設置などの仕事はあるが、地表探査方式を用い、電気探鉱や磁気探鉱のうち簡単な方法から始める必要がある。結果の解釈にあたっては、地質的には表土質の風化がはげしいこと、地理的には赤道近くであること、磁気探鉱の場合には鉱床以外に火成岩による異常に注意することなどが必要である。

(2) 鉱業権などの利権の問題

例えば、現在タイでは北緯11度以北を保護区域とし、外国人には鉱業権を与えていない。この問題は自国の産業の保護育成のため簡単に解決される問題ではないが、提携には技術援助とか機械設備貸与とか色々な形式があるがある程度大規模な、総合的な結びつきが必要である。その他の利権についてもよく注意する必要がある。

(3) 計画的で総合的な調査の必要性

わが国の海外調査は色々な方面に数多く実施されていると思われる。しかし、割に小規模な調査が個々に行なわれている傾向があるようで、国全体としての計画的で総合的な調査活動が

必要と思われる。例えば一つの鉱床を数組の調査団が全く別個に調査するなど勿体ない話である。

(4) 現地の技術者の教育

非常に大きな問題で、この方面の研究も盛んに行なわれているが、物理探鉱の技術者を例にとって説明する。現場で直接探査の仕事をする技術者がまず必要である。現在のわが国の大学教育の課程は現地の技術者に対して必ずしも適当ではない。例えば地質調査所か大学のこの方面の研究所で実地教育を主とした課程が望ましい。次に問題になるのは、わが国で教育を受けた現地の技術者に与える資格のことである。日本語のむずかしさもあるが、一般にわが国で何らかの資格をうることは困難のようであり、またその資格に現地でどれ程の価値が認められるかということは今後の大きな問題と思う。

とくに(3)と(4)は筆者が1年間 Teheran 大学に招聘されていた時にも痛感した問題であった。

この調査に対して御配慮を頂いたバンコック連絡事務所本岡教授、タイ鉱山局およびマレーシア地質調査所の各位ならびに現地の方々および東大小林名誉教授に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) S. Buravas: "Progress in Geology and Geophysics in Thailand since the First Pacific Science Congress (1920)", 「地学雑誌」, Vol. 72, No. 2, 1963. pp. 38~42.
- 2) P. Aranyakanon: The Cassiterite Deposit of Haad Som Pan, Ranong Province, Thailand. (Report of Investigation, No. 4) Royal Department of Mines, 1961. 182p.
- 3) T. Kobayashi: Report on the Stratigraphical and Palaeontological Reconnaissance in Thailand and Malaysia 1963-1964. Overseas Technical Cooperation Agency, 1964. 72p.
- 4) Bulletin of Statistics relating to the Mining Industry of Malaysia 1963, 1964. Department of Mines, Malaysia, 1963, 1964.